

# 21 世紀 へ の 化 学

——高分子と分子設計——

(1987 年度始業講演 文理学部)

島 美 喜 子

今年は 1987 年、あと 13 年で 21 世紀の幕が開く。今日は、新世紀に向けて化学は何をめざしているのかということを、特に私の専門である高分子科学に関して、話すことにする。

最近ではテレビ、新聞に科学、技術の話題がとり上げられない日はない。また、我々の生活のどの部分をとってみても、科学、技術が関係していないものはない。政治、経済も科学、技術を知らずには論ずることはできない、というのが現代である。

## 1. 先端技術と新素材——21 世紀は物質の時代？——

20 世紀、特に後半における科学、技術の発展の速度は、かつてない、比類のない程の速さになってきている。ハイテクノロジーとか先端技術ということがしきりに云われるようになったのは、この 10 年来くらいのことであるが、特に 1980 年代に入って、エレクトロニクス、ライフサイエンス、新エネルギーなどの各分野における技術革新は非常な高まりを見せたといわれている。先端技術は、物理、化学、生物などの基礎科学の発展がもたらしたものであるが、直接的には、従来は存在しなかった特別な性質、機能をもつ新しい物質—新素材—が化学者によって創り出され、それが技術に応用できるようになって始めて可能になったといえる。

最近、日米間で、その輸出をめぐる問題が起っている半導体ケイ素はエレクトロニクス産業にとっては不可欠の基材である。コンピュータの集積

回路, IC や LSI は高純度, 高結晶性のケイ素がつくられるようになって始めて可能になった。半導体ケイ素を用いると 5 mm 平方くらいの面積の所に数百万個のトランジスターをつくることができる。したがって, 回路は超小型化されるわけである。しかし, そのために用いられるケイ素にはテン・ナインあるいはイレブン・ナインともいわれる高純度が要求されるが, 化学における分離, 精製, 精密測定等の技術の進歩は現在, それを可能にしたわけである。

また, この 3 月末頃から超伝導性の新物質の発見がホットトピックスとして, 連日, 新聞やテレビでとり上げられている。ある種の金属合金について, 絶対零度  $0^{\circ}\text{K}$  ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) 近くで電気抵抗がほとんど 0 になるという超伝導現象は以前から知られていた。ところが, 現在, 問題の超伝導物質は金属でなく, ニューセラミックスと呼ばれる新素材である。若し,  $0^{\circ}\text{K}$  ではなく, 少しでも高い, 特に常温に近いような温度で超伝導性を示す新物質がつけられ, 技術に応用できるようになったとすれば, 世界のエネルギー事情への影響は測り知れないものがあり, 産業革命をもたらすことは必至といわれる幻の物質である。しかし, ニューセラミックスの成分(金属酸化物)や組成, 焼成する条件等を変えることにより, 超伝導性を示す温度が  $-200^{\circ}\text{C}$  代から  $-100^{\circ}\text{C}$  代へと更新されつゝあるというのが現状であり, もはや幻の物質ではなく, 近い将来に実現可能という期待が高まっている。世界各国の物理学者, 化学者の熾烈な競争はまさにデッドヒートという状態であり, 産業界もこの新物質に熱い視線を送っている。未だ, 理論も新物質の構造も明らかではないが, いずれ, 基礎科学的研究も発展していくであろうと思われる。

ライフサイエンスは 20 世紀半ば以降, 驚異的な発展を遂げつつある分野であるが, 既にバイオテクノロジーという新技術を生み出した。人工的な DNA 遺伝子により, すでにインシュリン, インターフェロン等がつけられている。現在, 生体の機能をもつような新物質の創造を多くの化学者がめざしているが, 人工血管, 人工臓器など一部, 可能になっているものもある。

以上, いくつかの例をあげたが, 先端技術を拓く基となったのは新素材の

開発である。21 世紀は物質の時代であるといわれており、従来はなかった新しい機能を具えた新物質を創り出すことが、現在の化学の一つの重要な目標になっている。

## 2. 分子設計と新物質の創造

20 世紀における化学の進歩で最も重要なことは、物質のミクロな構造が明らかになってきたということである。測定技術の進歩は分子レベルでの理解や観察を可能にし、数  $10\text{\AA}$  ( $10^{-7}\text{ cm}$ ) の微細な構造まで目でみることができるようになった。物質の性質は分子構造と分子の集合がつくっている組織の構造によって決まる。分子は原子より構築されているが、分子の個性はその構造が決定する。物質探究の学問である化学は現在、分子の科学であるといわれている。原子や分子の性質はその構造内の電子の状態や挙動によって左右される所が多いが、電子のようなミクロな粒子の挙動は 1925 年に生まれた量子力学により、始めて理論的な取扱いが可能になった。このような状況の下で、現在、新物質を創り出すためにとられているのは分子設計という方法である。ある特定の性質や機能を物質にもたせるためにはどのような構造をもつべきかということを化学者は机上で考えて、まず、その物質の分子構造を設計する。分子のデザインができたなら、あとは基礎化学的な知識、方法を駆使して所期の物質の合成、実現を進めるということになる。

物質をつくること自体は化学にとっては新しい話ではなく、19 世紀半ば以降に発展した有機合成化学の分野では染料、医薬品を始めとする数多くの物質の合成が行われてきた。

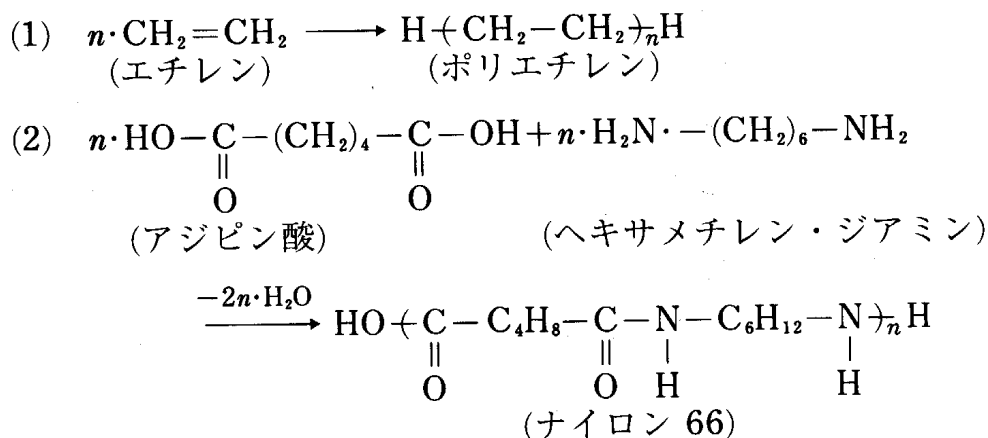
しかし、従来の合成化学は、例え、それがいかに複雑な構造をもつ物質であったとしても、天然に既に存在している物質と同じものを人工的に合成することを主な目的とするものであった。上に述べてきた分子設計による新物質の合成は、天然には存在しないものを人工的に創り出すことをめざしているという点で、従来の合成とは全く異なる意味をもっている。次に分子設計の具体的な問題を高分子物質について述べることにする。

### 3. 高分子の化学

高分子とは何か、ということをもまず、具体的物質で示すと、天然のものと合成のものに分けて、天然高分子は絹、木綿、羊毛等の繊維、天然ゴム、そして、セルロース、でんぷん、タンパク質、DNA、酵素等、生体の構成物質および生命のいとなみに関与しているもののほとんどは高分子である。合成高分子としては、合成繊維、合成ゴム、プラスチック等があげられる。高分子というのは高い分子量をもつ物質 (high-molecular weight compounds) の意であるが、低分子化合物の分子量は、例えば、水では 18、ベンゼンでは 78 であり、大きくても 500 を超えることは稀れであるのに対し、高分子化合物の分子量は少くとも 1000 以上、数万、数十万あるいは百万を超えるものもある。分子量が大きいということは、当然、分子として大きくなるわけで、高分子 (high polymer) は巨大分子 (macromolecule) ともいわれる。分子量が非常に大きくなるのは、その構造に起因するものであり、高分子は低分子化合物に相当するような構造単位が繰り返し、化学結合で連結して長い鎖となった鎖状の分子構造をとるものが多い。そして、分子量は連結している構造単位の数によって決まるので、その数が増えれば、それに応じて分子量は大きくなるわけである。

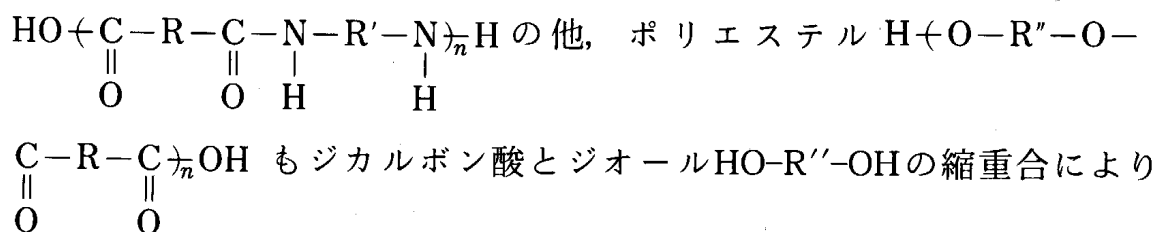
### 3.1 高分子の合成

合成高分子は構造単位に相当する低分子化合物の単量体を重合することによって得られるが、実例として、ポリエチレンとナイロンの重合反応を下に示す。



(1) は二重結合をもつ単量体 (monomer) が順次, 付加, 結合して鎖状の重合体 (polymer) が生成する付加重合であり, (2) ではジカルボン酸,  $\text{HOOC} \cdot \text{R} \cdot \text{COOH}$  とジアミン  $\text{H}_2\text{N} \cdot \text{R}' \cdot \text{NH}_2$  の官能基,  $\text{COOH}$  基と  $\text{NH}_2$  基とが逐次反応し, その際, 水分子が脱離, アミド結合  $\begin{array}{c} \text{—C—N—} \\ || \quad | \\ \text{O} \quad \text{H} \end{array}$  を生成することにより

よって鎖状のポリマーができるが, この反応は縮重合といわれる。(1) の型のポリマーとしてはエチレンの H の 1 個, あるいは 2 個以上を他の原子あるいは基で置換したモノマーを重合させることにより, 極めて多種類のポリマーがつくられる。(2) の型としては, ナイロンの例にみられるポリアミド



つくられる。 $\text{R}, \text{R}'$  および  $\text{R}''$  は基 (原子団) を表わしており, これらを種々に変えることによって, 多様なポリマーをつくり出すことが可能である。表 1 に得られているポリマーの例を示した。

### 3.2 高分子の分子構造と特性

低分子に比べて高分子の分子構造は極めて複雑であり, 分子量, 分子構成, 立体規則性構造, 分子形態等がすべて, その物性に影響してくる。

#### 3.2.1 高分子の分子構成

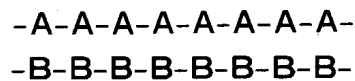
図 1 の (1) は 1 種類の構造単位から成る単独重合体 (ホモポリマー) の分子構成を示したものである。それぞれ, A あるいは B の単位がくり返し結合した鎖状構造となっている。

鎖分子が 2 種類の成分, A および B の構造単位から成る共重合体 (コポリマー) の場合は, 例え, 分子量, 組成が一定でも分子内における, A, B の分布状態により, 4 種類の異なった分子構成が考えられる。図 1(2) の (a) は 1 本の分子鎖内で A および B 単位が at random に分布しているものでランダム共重合体とよばれる。(b) は A と B が交互に規則的に配列している交互共

表 I 鎖状高分子 (単独重合体)

| 高 分 子                      | 繰返し単位   |
|----------------------------|---|
| ポリエチレン                     | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$   |
| ポリプロピレン                    | $-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$   |
| ポリ塩化ビニル                    | $-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$   |
| ポリエチレン                     | $-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$  |
| ポリアクリロニトリル<br>(アクリル繊維)     | $-\text{CH}_2-\underset{\text{CN}}{\text{CH}}-$   |
| ポリメチルメタクリレート               | $-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\text{C}(\text{CH}_3)-}$  |
| ポリ四フッ化エチレン<br>(テフロン)       | $-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$   |
| ポリブタジエン<br>(合成ゴム)          | $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$   |
| ポリエチレンテレフタレート<br>(ポリエステル)  | $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{O}-$  |
| ナイロン 66<br>(ポリアミド)         | $-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-(\text{CH}_2)_4-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\underset{\text{H}}{\underset{ }{\text{N}}}-(\text{CH}_2)_6-\underset{\text{H}}{\underset{ }{\text{N}}}-$           |
| ケブラー<br>(アラミド)             | $-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\underset{\text{H}}{\underset{ }{\text{N}}}-\text{C}_6\text{H}_4-\underset{\text{H}}{\underset{ }{\text{N}}}-$ |
| ポリエチレンジイソシアネート<br>(ポリウレタン) | $-\underset{\text{H}}{\underset{ }{\text{N}}}-(\text{CH}_2)_2-\underset{\text{H}}{\underset{ }{\text{N}}}-\underset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{C}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-$   |

(1) 単独重合体 (homopolymer)



(2) 共重合体 (copolymer)

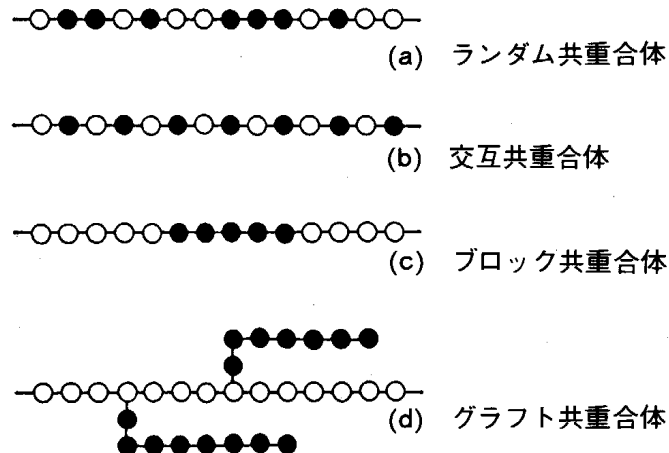


図 1 高分子の分子構成

重合体, (c) のブロック共重合体では A 単位の長い連鎖 (sequence) すなわち A ブロックと B の長い連鎖—B ブロック—が結合して 1 本の分子鎖を構成している。(d) はグラフト共重合体といわれるもので, A ポリマーの幹 (主鎖) に側鎖として B ポリマーが graft (接木) された形をとっている。

通常の共重合反応で得られる共重合体は (a) のランダム共重合体であり, (b)~(d) の型の共重合体に最初は“分子設計”として考えられたものであるが, 1950 年代末, リビングポリマーの発見により, ブロック共重合体, グラフト共重合体を合成し得る原理が明らかになった。また, 特別な重合触媒を用いることにより, ある種の共重合系では交互共重合体も造り得ることが, 現在は知られている。著者は主として, 共重合体の物性と分子構造に関する研究に携っており, 特にモデル化合物として, ブロック共重合体の合成も行なってきた。リビングポリマーの性質を応用すれば, ブロックの長さ, 数などを予め任意に設定したブロック共重合体の合成が可能であり, このようなポリマーは“tailor-made polymer”とよばれた。最近は高分子以外の分野で

も“tailored molecule”ということが盛んにいわれるようになっているが、高分子の分野では極めて早い時期から既に“分子設計”が行われていたわけである。グラフト共重合体に関しても、グラフトする分枝の長さ（側鎖ポリマーの分子量）および分枝の数を予め、指定することが可能である。そして、ブロック共重合体あるいはグラフト共重合体について、以上に述べてきたような“モデル化合物”が得られるならば、共重合体の物性の解明にとって極めて重要な意味をもつ。しかし、“分子設計”通りのポリマーを精確に実現するためには高度の実験技術が必要であり、実際問題としては極めて難かしい。現状としては、基礎的研究よりも、精密性が余り要求されない応用面での発展が著しく、性質の異なる2種類のポリマーを組合せた種々なブロック共重合体、グラフト共重合体がつくられている。例えば、弾性繊維、スパンデックスはハードなポリウレタンのブロックと弾性をもつポリエーテルのブロックとから成る共重合体であり、また、ポリブタジエンにポリスチレンブロックを結合させると、ゴム弾性をもちながら成型も可能な合成ゴムが得られる。一般的に共重合体はA成分およびB成分の2種類の性質を組合せることができるだけでなく、AおよびBのホモポリマーの単なる混合物とは異なった性質を示すが、分子構成が異なれば、また、性質も変化するので、その応用範囲は極めて広いわけである。ハードなコンタクトレンズはポリメチルメタクリレートを主成分とするが、その後、開発されたソフトなレンズではこれに親水性の基をもつ成分が加えられた共重合体であり、水を吸収、膨潤してソフトなものとなり、また、酸素を透過することができるので、長時間の使用が可能となった。

図2は高分子の構造を模式的に示したものである。(a)は直鎖状の構造であるが、(b)は分枝をもつもの、(c)は鎖状分子間で架橋が起こって、三次元、網目構造となったものを示す。これまで、鎖状高分子については述べてきたが、合成高分子は鎖状構造と網目構造をもつ二つの型に分類される。網目構造は鎖状高分子に二官能性の架橋剤を加えることによりつくられる他、熱硬化性樹脂とよばれる尿素樹脂等がこの構造をもつ。鎖状高分子は熱に



(a) 直鎖(鎖状構造)      (c) 架橋(網目構造)

(b) 分岐

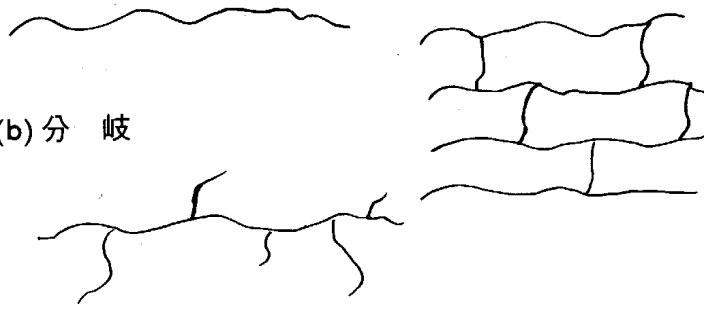


図 2 高分子の分子構造

よって軟化し、熱可塑性であるのに対して、熱硬化性樹脂は熱を加えることによって網目構造がさらに発達していくために軟化することはない、熱成型は不可能である。耐熱性塗料やエポキシ系の接着剤もこの型のものであり、網目構造高分子は、実用面では種々な用途をもつが、有機溶媒にも溶解しないので、分子論的研究の対象にはなり難い。また、鎖状高分子も重合反応によって実際につくられるとき、反応条件により、僅かながら、短い側鎖をもつ場合がある。例えば、高温、高圧でつくられたポリエチレンは、低圧ポリエチレンに比べて分枝が多い。分枝があると結晶化し難く、また、密度も小さくなるというような性質の相違が出てくる。

### 3.2.2 高分子の立体規則構造

立体規則性構造は高分子の構造特性の一つである。図 3 に  $-(CH_2-CHR)_n$  型のビニルポリマーの 3 種類の立体構造を示した。R は置換基である。C-C 主鎖は紙面と一致する平面上にあるが、 $-H$  および  $-R$  に関して、 $-$  は結合が紙面の前方に、 $\cdots$  は紙面の後方に出ていることを示す。(a) は  $-H$  と一つおきにある  $-R$  がすべて紙面の一方側、後方に出ており、この型をイソタクチック (isotactic) 構造という。(b) は  $-R$  が交互に紙面の前方と後方に出ているものでシンジオタクチック (syndiotactic) 構造、(c) は  $-R$  の結合の方向は (a) および (b) のように規則的ではなく、紙面の前方と後方に出るものがランダムに混りあっており、アタクチック (atactic) 型である。通常の重合反応によって得られるポリマーはアタクチック構造であり、(a) と (b) は特別な立体

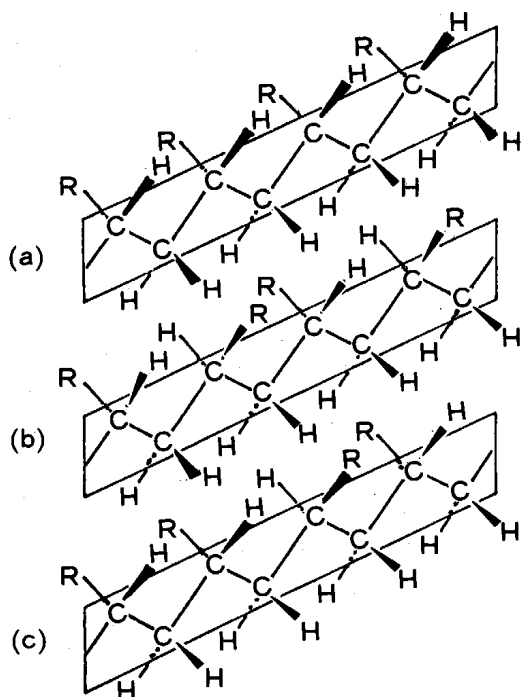


図 3 高分子の立体規則性構造

- (a) イソタクチック
- (b) シンジオタクチック
- (c) アタクチック

規則性構造である。(a) と (b) の中、最初に実現したのはイソタクチックポリマーであり、1950 年代の末にイタリアの Natta 教授が Ziegler-Natta 触媒とよばれる特別な重合触媒を用いて、イソタクチックなポリプロピレン（この場合は  $R = -CH_3$ ）を得た。これは従来のポリプロピレンに比べて、高度の結晶性をもち、その分子鎖は図 4 に示したようならせん構造をとることが X 線結晶解析により、明らかにされた。この結果が始めて国際会議で発表されたときは、ビッグ・ニュースとして、大きな話題となったが、一つには、ポリプロピレンから新しい夢の繊維がつくられるのではないかという期待もあって、産業界が強い関心をもち、日本からも人々が競ってイタリアに出かけた時代があった。結局、ポリプロピレンは繊維としては発展しなかったが、Ziegler-Natta 触媒は種々なポリマーに応用されて、多くのイソタクチックポリマーが造られた。また、一方、シンジオタクチックポリマーを合成する方法もその後、発見され、ポリマーの立体規則性構造と物性に関する研究に発展した。例えば、同じポリスチレンでも立体規則構造の相違により、結晶性、密度、溶解性などの物性が異なることが明らかになったが、天然高分子にも同様な例が見られる。セルローズとアミロース（デンプンの主成分）の

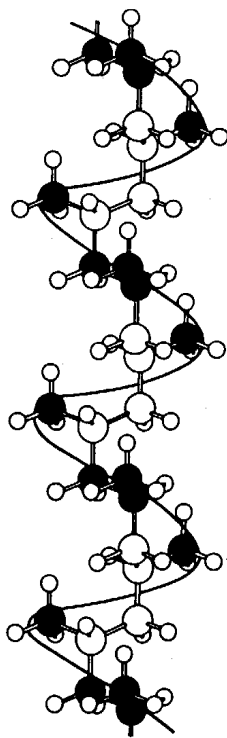
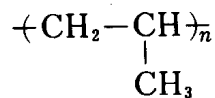


図 4 イソタクチックポリプロピレン  
分子のらせん構造



構造単位は等しく D-グルコピラノースであるが、セルローズではイソタクチック構造、アミロースではシンジオタクチック構造をとっている。セルローズは水に不溶、アミラーゼは水溶性であり立体構造の相違が物質としての性質を著しく異なるものになっている。以上のようにポリマーの性質を考えると、立体規則性構造も重要な factor の一つである。

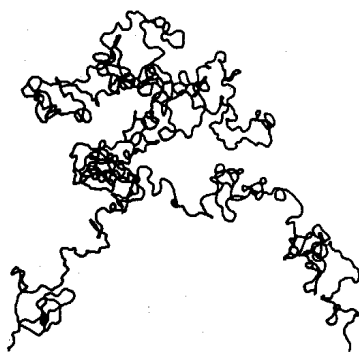
### 3.2.3 高分子の分子形態

高分子の分子形態 (conformation) は極めて複雑であるが、理論的および実験的研究が進歩し、現在、その姿がとらえられるようになってきている。長い鎖状の高分子、例えばポリエチレンを分子軸の方向に延伸するとき図5の (a) に示される形態となる。C—C—C の原子価角は  $109^\circ 28'$  で鎖の骨格—C—C 主鎖—は一つの平面上にある、平面ジグザグ構造である。そして、鎖がこのような形で揃って並ぶ時には結晶化が起る。透明なポリエチレン・シートを引張るとき、引張られた方向に白くなるのは部分的に結晶化が起ったためである。固体では分子間相互作用の影響が大きく、鎖分子同志は互に束縛し合って、1本、1本の鎖は自由な形態をとり得ないが、ポリマーを

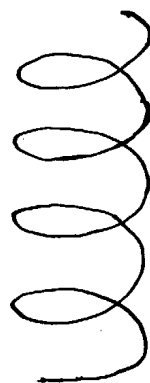
(a) 平面ジグザグ



(b) ランダムコイル(屈曲性高分子)



(e) らせん形態



(c) 溶液中での形態

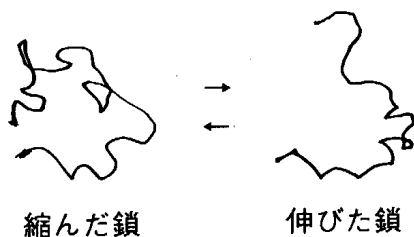


図 5 高分子の形態 (コンホメーション)

有機溶媒にとかして稀薄溶液にした場合、各鎖分子は相互の束縛力からとき放たれて自由な形態をとる。5(b) は稀薄溶液中の高分子鎖の形態を模式的に示したものであるが、これは各結合を一つの step とし、全ての方向に同じ確率で歩行が起ると考え、例えば、1000 step になったときにはどのような軌跡が描かれるかということであり、random flight (酔歩) の問題として統計的に求められる。実際のポリマーでは step の方向に結合角、および各結合の周りの内部回転角等の制約が入ってくる。 $-(CH_2-CHR)_n$  型のビニルポリマー等ではランダム・コイルとよばれる 5(b) の型の分子形態をとるものが多い。しかし、ランダム・コイル型の形態でも溶媒の溶解力に依存して、鎖が伸びて広がった形になったり、鎖が収縮して糸まり状の形をとったりする 5(c)。また、ポリペプチド等の生体関連高分子では溶媒の種類によって、ランダ

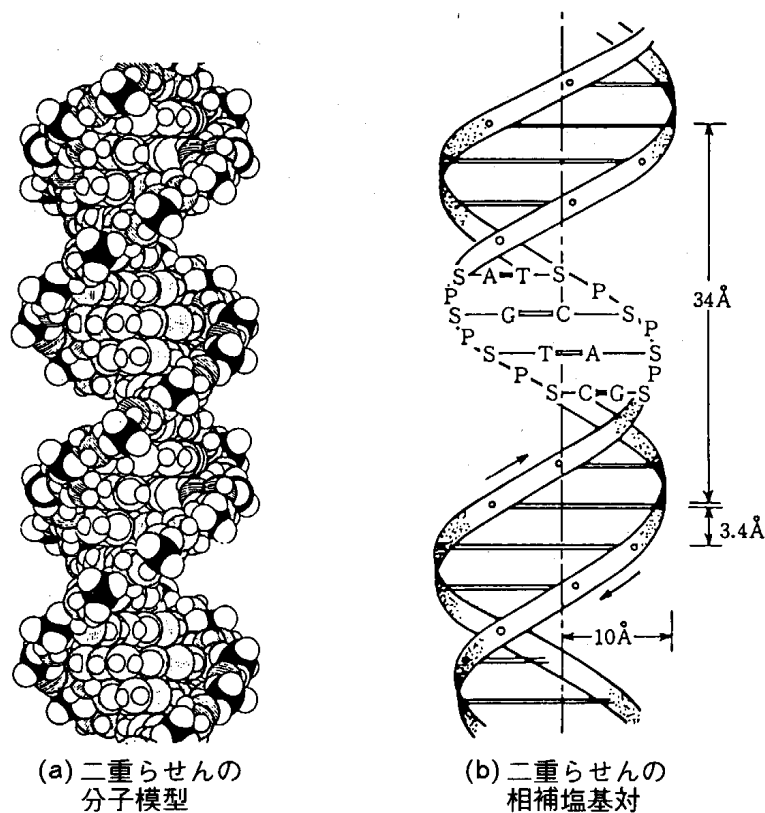


図 6 デオキシリボ核酸 (DNA) の構造

ム・コイルから規則的ならせん構造へと転移するものもある。セルローズのように主鎖に環状構造が入っている場合はその立体的な影響のため分子鎖の結合点での屈曲や結合の周りでの内部回転がほとんど不可能になるので、剛直 (rigid) な分子となり、棒状の分子形態をとる。一方、ランダム・コイル型は屈曲性 (flexible) 分子といわれる。以上、主として合成高分子の形態について述べてきたが、複雑な分子構造をもつ生体高分子の場合、その形態はさらに複雑、多様である。図 6 はよく知られた DNA (デオキシリボ核酸) の二重らせん分子構造を示した。図 7 はさらに複雑なタンパク質分子の形態を模式的に示したものであるが、らせん状、アコーディオン状、リボン状等の部分が含まれている複雑な造形である。そして、重要なことは、これら、生体高分子の機能はその分子形態と密接な関係をもっているということである。遺伝情報を担う DNA の情報伝達の機構はその二重らせん構造と結びつけて

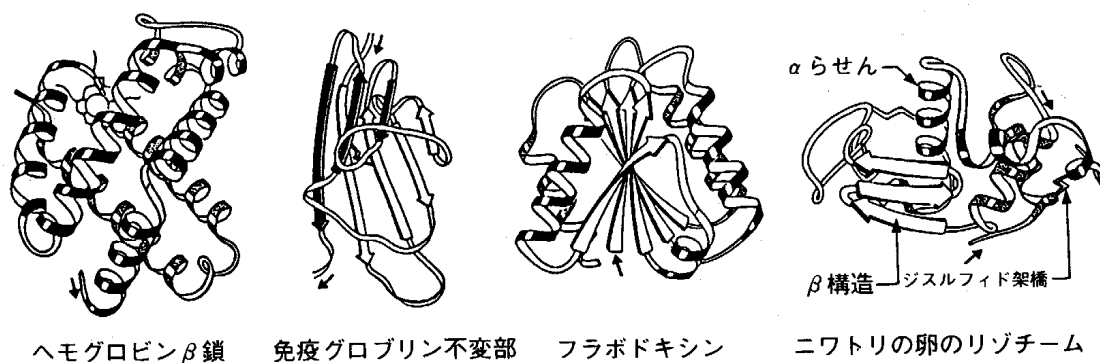


図 7 タンパク質分子の形態 (4 種類)

説明することができる。

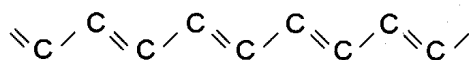
以上に述べてきたことを総括すると、高分子に、ある特別な機能性を付与するための分子設計としては、物質の成分として何を用いるかということの他に、分子構成、分子の立体規則性構造、分子形態等をすべて考慮に入れなければならないということである。そして、これらの factor を変化させることによって、特殊な機能を創り出すことが可能であり、新素材を開発するための物質として高分子に大きな期待がよせられる理由もこの点にある。すでに多くの機能性高分子について研究が進められ、実際に応用されているものも少なくないが、最後にそのいくつかの例をあげて話を終ることにする。

#### 4. 機能性高分子

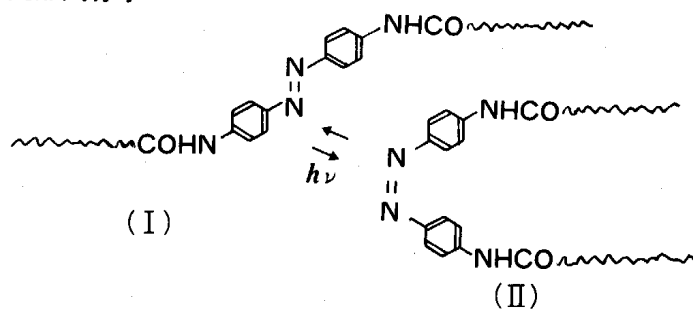
機能性高分子の機能として考えられていることは、電気的機能、光に対する機能、生体機能、化学的機能、熱的および機械的機能など、極めて広範囲にわたるものである。以下に述べるのは、その中の一例にすぎない。

(1) 電気を導く高分子; プラスチックといえば、従来は絶縁体と考えられていたが、最近、アセチレンの重合によって得られるポリアセチレンを始めとする導電性ポリマーがつくられている。ポリアセチレンの主鎖骨格は図 8(a) に示すように共役二重結合 ( $C=C$  が一つおきにある) をもっており、分子内で電子がある程度、動き得る構造になっている。電導度は未だ、それほど大きくないが、いずれ将来は金属に匹敵するような電導度をもつポリマー

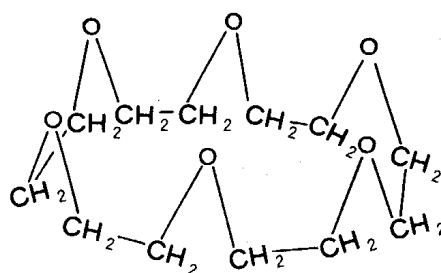
(a) 光導電性高分子 (ポリアセチレン)



(b) 光変形高分子



(c) キャリアー高分子  
(クラウンエーテル)



(d) 高吸水性高分子

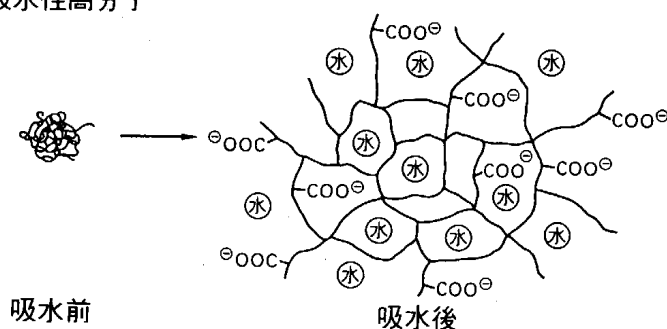


図 8 機能性高分子

がつくられることも夢ではないであろう。

(2) 光で形を変える高分子; 光照射によってシス  $\rightleftharpoons$  トランスなどの構造変化を起す低分子化合物を高分子鎖に導入すると, 大きな形態変化に結びつけることができる。8(b) はこのような例で, 紫外線を照射しているときは II の形態, 光を遮断すると I に戻る。未だ, 基礎的研究の段階であるが, 情報記憶や情報伝達のスイッチの on と off にどのように結びつくか, 興味ある問

題である。

なお、光に対する機能をもつポリマーとして、現在、多く用いられているものには光通信用のプラスチックファイバー、集積回路の加工用の感光性高分子——フォトレジスト——がある。

(3) キャリヤー高分子；8(c) はクラウンエーテルとよばれるものであるが、丁度、王冠の形の尖端部分に酸素原子がある。分子設計により、種々なクラウン化合物がつくられているが、この分子の特徴はクラウンの中に金属イオンを包接して錯体をつくることであり、イオンの輸送や  $\text{Na}^+$  や  $\text{K}^+$  の有機溶媒への可溶化に用いることができる。高分子にクラウン化合物を固定化して、金属の選択分離、高分子触媒への応用等が研究されている。

(4) 高吸水性高分子；8(d) はテレビで赤ちゃんの紙おむつの CM にも登場してくる高吸水性ポリマーの構造を示したものである。1 g のポリマーが 10 l の水を吸収することができ、しかも吸収された水がそのまま保持されるのは、ポリマーの網目構造がその中にある親水性の基により、水を吸収、膨潤したゲルとなって広がり、網目の中に水の分子が入り込むためである。

(5) 耐熱性超強力繊維；合成繊維やプラスチックは大体、熱に弱いというのが従来の常識であったが、最近は耐熱性および機械的強度に優れたプラスチック（エンジニアリング・プラスチック）や繊維がつくられるようになった。その一つのアラミド (kevlar) は表 I に示したように、分子構造はナイロンと似たポリアミドであるが、主鎖に芳香族環をもつ。強度は鋼鉄よりつよく、融点約  $500^{\circ}\text{C}$  の耐熱性超強力繊維であり、この他にも融点が  $1000^{\circ}\text{C}$  近いものまでつくられている。